

浅析食品冷冻干燥技术 ——以速冻隧道冷风机设计为例

邵军晖 赵丽超 张洪旗 崔俊昌 张翠翠 烟台中孚冷链设备有限公司, 山东烟台 265500

作者简介: 邵军晖, 大学本科, 工程师。研究方向: 真空冻干系统中冷风机、多种结构单体速冻机、蒸发式冷凝器、空气冷却器的研发设计工作, 目前获得 3 项国家专利

摘要:本文以某食品公司的真空冻干设备中速冻隧道内的冷风机设计为例, 从冷风机的热交换过程、热量传递过程的控制、冷风机系统管道设计等几个方面进行详细介绍, 在冻结间的冷风机通过布置形式和气流组织形式等方面分析, 最终达到速冻的目的。整套真空冻干设备特别适用于农业产业化企业, 将广泛应用于速食品、果蔬品、休闲食品等绝大部分的农产品深加工、食品深加工行业, 还应用于生物制药、医疗、保健品等行业。

关键词: 真空冻干; 冷风机; 农业产业化; 农产品深加工

引言

真空冷冻干燥技术是目前被公认的最先进的食品加工技术^[1], 能保持食品的色、香、味、形, 相比较其他加工技术, 能最大限度保留食品的各种营养成分。食品经过该技术加工后, 更营养, 更健康。在真空冻干系统中, 速冻隧道是整个系统中关键的一个工艺过程, 速冻的质量好坏直接影响产品冻干后的质量, 以及干后复水以后的质量, 冻结速度和送

风温度以及送风的均匀性是速冻隧道设计的关键部分。冷风机作为速冻隧道的核心设备, 对冷风机进行优化设计很关键, 最终实现风场的合理布置, 物料冻结需要均匀一致, 达到速冻的目的。

1 冻干项目简介

由烟台中孚冷链设备有限公司设计、生产、安装调试的福建立兴食品公司冻干成套设备工程顺利



投产使用。烟台中孚的科研人员于 1996 年开始从事冻干机理、冻干工艺、冻干设备的研究开发工作，经过大量的冻干工程实践，在系统优化、冻干工艺研发实验、冻干工厂系统设计等多方面积累丰富经验，为国内外众多客户建设了不同规格、不同类型的冻干生产线。

福建立兴食品公司总部坐落在福建漳州市，是农业产业化重点龙头企业，该公司主营冻干果蔬系列产品、冻干速食方便食品系列、冻干肉制品系列、速溶茶及其他植物提取物、冻干咖啡系列。在国内冻干行业，该公司生产规模排在行业前列，冻干产品市场占有率名列行业前茅。

真空冷冻干燥技术是将含水物料在低温状态下冻结，然后在真空条件下使固态水直接升华为气态并排走，从而脱去物料中的水分使物料干燥的一项高新技术^[9]。真空冻干技术几乎可以对所有的农产品进行加工，成品种类多，适用范围广。蔬菜类包括菠菜、黄花菜、芹菜等，水果类如香蕉、草莓、无花果、黄桃、龙眼、菠萝等，水产类如海参、甲鱼、海带，调味品如葱、姜、蒜，饮品类如茶叶、菊花、枸杞，干果类如核桃、花生、开心果等均可加工。成品包括冻干果蔬、冻干肉类、冻干方便面、冻干汤粥、速溶饮品等。该技术加工后的农产品质量远高于其他加工工艺^[9]。

2 冷风机的优化设计

2.1 冷风机的热交换过程

冷风机是热交换器的一种，冷风机排管内的制冷剂排出时理论上不允许有液滴，以保证压缩机的正常运转。在实际系统中，有时在冷风机出口装设气液分离器，使压缩机得到进一步保护^[9]。

传热过程是导热、对流、辐射三种传热方式的综合，传热过程的强烈程度用“传热系数”来表示。如果利用低沸点的物质作为工质，利用该工质在定温定压下液化和气化的相变性质，可以实现定温定压吸热

或放热过程（在湿蒸气区）。因而原则上可实现逆卡诺循环 $1'-3-4-8-1'$ （如图 2-1 所示）^[9]。

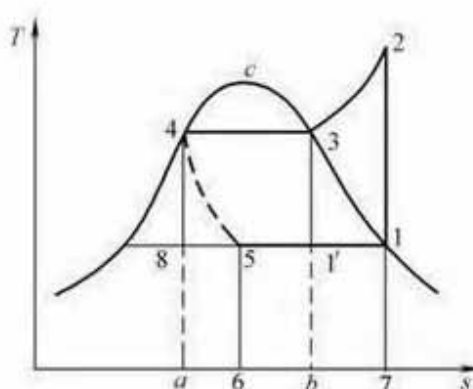


图 2-1 蒸气压缩式制冷循环图

图中 T 表示温度， S 表示熵。图中 $1'-3$ 过程表示制冷剂在压缩机中定熵压缩， $3-4$ 过程表示制冷剂在冷凝器中定压定温冷凝放热， $4-8$ 过程表示制冷剂在膨胀机中的定熵膨胀， $8-1'$ 过程表示通过蒸发器从冷库中定压定温气化吸热。蒸气压缩制冷装置主要由压缩机、冷凝器、膨胀阀及蒸发器组成。实际上蒸气压缩制冷循环图过程是 $1-2-3-4-5-1$ 。从蒸发器出来的制冷剂呈干饱和蒸汽状态被吸入压缩机，绝热压缩后成为过热蒸汽（过程 $1-2$ ）。蒸汽进入冷凝器后，在定压下冷却（过程 $2-3$ ）并进一步在定压定温下凝结成饱和液体（过程 $3-4$ ）。饱和液体通过膨胀阀（或称为节流阀、减压阀）经绝热节流降温而变成低干度的湿蒸气。绝热节流是不可逆过程，节流前后焓值相同，图 2-1 中用虚线 $4-5$ 表示。湿蒸气进入冷室的蒸发器，在定压定温下吸热气化成为干饱和蒸汽（过程 $5-1$ ），从而完成一个循环。

制冷系统热交换设备涉及的传热过程包括平壁、圆管和肋壁的传热过程。现以圆管的传热过程为例加以说明。由于圆管的内、外表面积不同，所以传热系数也有内、外之分。以圆管外表面积为基准时，单位时间传热量 Φ 为：



$$\Phi = K_o F_o (t_i - t_o) = K_o \pi d_o l (t_i - t_o) \quad (2-1)$$

单位长度的传热系数为

$$q_1 = \frac{\Phi}{l} = K_1 (t_i - t_o) \quad (2-2)$$

$$K_1 = K_o (t_i - t_o) \quad (2-3)$$

式中 q_1 ——单位时间的传热量, W;

Φ ——传热系数, W/m²·°C;

K ——圆管外表传热面积, m²;

F_o ——圆管内侧流体温度, °C;

t_i ——圆管外侧流体温度, °C;

t_o ——圆管的长度, m;

l ——圆管的内径, m;

d_o ——圆管的外径, m;

r_i ——圆管的内半径, m;

r_o ——圆管的外半径, m;

λ ——管壁材料的热导率, W/m²·°C。

2.2 热量传递过程的控制

在热量传递过程中, 需要强化传热过程来实现节约能源。通常的方法有增加传热面积, 增加传热温差, 增加传热系数或对流传热系数^[6]。

强化传热有很多种方法: 改进翅片的形状、增加排管的排列密度、蒸发器翅片进行表面处理、减少翅片与排管的接触热阻等。强化传热的研究已经历了至少半个多世纪的历程, 现以固体表面的第三代传热技术(纵向涡发生器)为例加以说明。纵向涡发生器(如图 2-2 所示), 就是突起的三角形片, 他们对准来流方向设置, 可使流体绕流后产生沿主流方向前进的一对旋转的涡, 称为纵向涡。试验证明, 这样的涡可有效强化纵向涡流经区域的对流传热。图 2-2 所示是四种常见的纵向涡发生器, 图中表示三角形翼, 表示矩形翼, 表示三角形小翼, 矩形小翼。

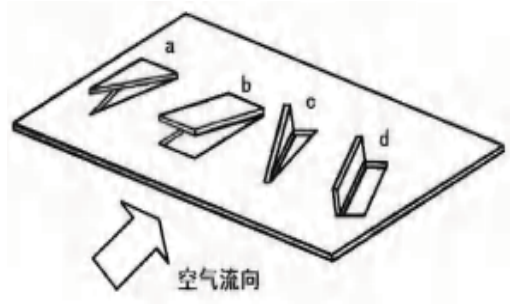


图 2-2 四种常见的纵向涡发生器

冷风机的翅片采用亲水铝箔, 是强化传热的一种方法。亲水处理是在翅片表面生成具有亲水性的耐腐蚀薄膜, 使凝结水在翅片上迅速扩散, 形成极薄的水膜, 避免形成“水桥”, 可以延缓结霜, 提高传热^[7]; 同时可以防止翅片受腐蚀而形成“白粉”。

2.3 冷风机系统管道设计

制冷系统的管道是制冷系统的重要部分, 必须严密, 不能是制冷剂泄露或空气渗入。冷风机系统管道设计包括管路的布置, 管径的确定, 管道与管件的布局, 管道支架和绝热层的设计, 等等。

管径的选定取决于管内控制压力降和流速的大小, 在工程设计中一般采用限定管段流动阻力损失来确定管径大小。有公式计算法和线算图法, 公式计算法比较烦琐, 大多采用线算图法。氟管道回气管由水平管段和立管段组成, 根据制冷能力、管道当量长度、蒸发温度, 从相关的线算图即可查得回气管最小内径。对于上升回气立管, 确定管径时还要考虑带油速度问题。如图 2-3 所示, 为多组蒸发器回气支管接至同一回气总管时, 应根据蒸发器和压缩机的相对位置采取不同的方法处理。

氟系统回气管不仅要向压缩机输送低压气体, 还要将蒸发器内的润滑油带回压缩机而不发生回液。回气管水平部分应有一定的坡度, 坡向压缩机。上升回气立管的底部应设有“回油弯”。在压缩机吸入口附近的回气管上不要设置回油弯, 避免出现液囊, 在压缩机重启时发生油击。



管道支架是支撑和固定管道，支架的最大间距应满足：防止管道因垂直作用力引起的弯曲破坏；有坡度要求的管道，应有挠度不大于坡度的要求。管道隔热的设计应按现行国家标准执行。隔热层的厚度应能保证隔热层外表面的温度不低于当地空气的露点温度，防止管道外表面凝结滴水或结霜。

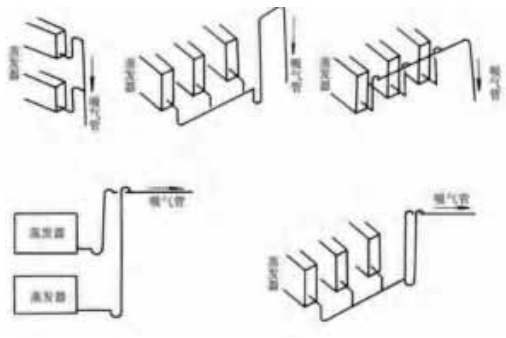


图 2-3 多组蒸发器回气管的连接

3 展望

农业产业化经营，指农业生产面向市场，实现科研、生产、加工、销售一体化，走向社会化生产的一种新型经营方式。主要是农户之间或者是龙头企业与农户之间，在供产销等生产经营环节上，在明晰各自产权条件下的联合生产。由传统的封闭式生产迈向了市场经济条件下的社会化大生产，是实现农业现代化的重要途径之一。培育了支柱产业，促进了农民增收^[8]。我国是农业大国，有丰富的蔬菜、水果、肉食及水产资源，然而长期以来农牧产品一直停留在出口原料或初加工阶段，农产品的附加值低，经济效益差。而将农产品加工成冻干产品，或开发出更多的附加值高的深加工产品，必将给农民、企业、国家带来巨大的经济效益^[9]。食品真空冻干技术区别于膨化、油炸技术，它最大程度保留了营养成分。科技向善，将真空冻干技术服务于全人类的民生产业，该技术将引领食品界的又一次“工业革命”。

4 结语

本文从多个方面对速冻隧道的冷风机进行优化设计，旨在保证速冻间内的温度场、风速场尽可能均匀，使不同货位的食品在相近时间内完成速冻过程，以提高冻品质量^[10]。冷风机的速冻间是强制通风，需配有合适的风速使空气循环流动，加快冻结速度、缩短冻结时间。冷风机的轴流风机大多采用山东济南风王通风设备（由航空专业化研究所演变而来）自主研发的机翼型系列结构，具有大流量和较低压头，且噪音低、体积小、重量轻等优点^[11]。■

参考文献：

- [1] 赵怡红 真空冷冻干燥技术在食品加工中的研究和应用综述 [J] 江苏：常州工程职业技术学院学报，2007，1~2
- [2] 刘建涛，等 海参真空冷冻干燥工艺 [C] 湖北：华中科技大学第十一届全国冷冻干燥学术交流会论文集，2012，20~24
- [3] 郭雷 真空冷冻干燥技术在我国农产品加工中的应用 [J] 安徽：现代农业科技，2020，1~2
- [4] 吴业正 制冷原理及设备 [M] 陕西：西安交通大学出版社，2011，185~190
- [5] 廉乐明，等 工程热力学 [M] 北京：中国建筑工业出版社，2007，206~212
- [6] 杨世铭，等 传热学 [M] 北京：高等教育出版社，2006，497~502
- [7] 邵军晖，等 用撞击式网带单冻机冻结南美白虾的优化设计 [J] 北京：中国食品工业，2020.10，116~118
- [8] 邵日晴 农业产业化与农产品加工发展 [J] 北京：中国民营科技与经济，2008，第 07 期
- [9] 肖霄，等 冻干食品的生产及其市场前景 [J] 北京：农业工程技术，2008，1~2
- [10] 李建华 制冷工艺设计 [M] 北京：机械工业出版社，2007，156~161
- [11] 邵军晖，等 蒸发式冷凝器的四大部件在优化设计中的具体分析研究 [J] 山东：现代制造技术与装备，2020.09，38~40

